

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 0 - 8 2 4 6

(43) 公開日 平成 1 0 年 (1998) 1 月 1 3 日

(51) Int. Cl. ⁶

C23C 14/34

14/35

識別記号

庁内整理番号

F I

C23C 14/34

14/35

技術表示箇所

D

G

Z

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 1 6 2 6 7 6

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 6 月 2 4 日

(71) 出願人 5 9 6 0 9 1 1 4 1

門倉 貞夫

東京都八王子市宇津木町 9 4 0 番地の 1 6 5

(72) 発明者 門倉 貞夫

東京都八王子市宇津木町 9 4 0 番地の 1 6 5

(72) 発明者 直江 正彦

東京都目黒区大岡山二丁目 1 0 番 4 0 号
大岡山宿舎 C D 3

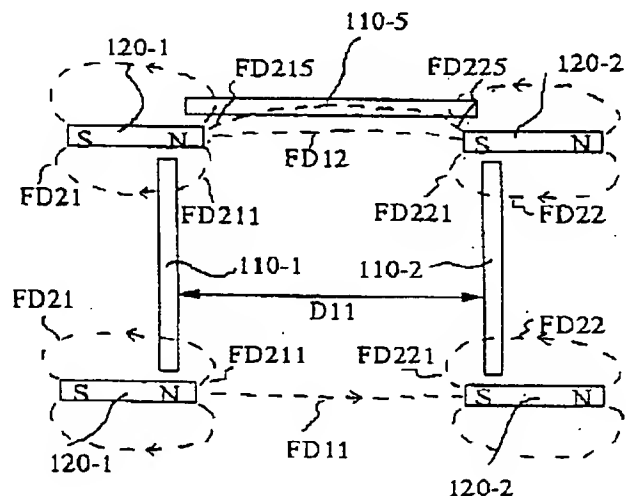
(74) 代理人 弁理士 尾身 祐助

(54) 【発明の名称】 スパッタ方法及びスパッタ装置

(57) 【要約】

【課題】 ターゲットの使用効率が高く、且つ長期安定性に優れた工業生産に適したスパッタ方法及びスパッタ装置。

【解決手段】 開口部を除いてターゲットで区画された区画空間を形成し、該区画空間のターゲット表面近傍に平板マグネトロンモード、同軸マグネトロンモード及び対向モードの電磁界を形成すると共に、開口部に電子反射手段を設けて、該区画空間内にスパッタプラズマを生成し、開口部に対面配置した基板上に膜形成するスパッタ方法及びスパッタ装置。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定距離の空間を隔てて対向配置した一対の第 1 のターゲットと該空間の開口部を除いた側面を覆うように配置した第 2 のターゲットとにより該空間を開口部を除いて区画された区画空間に構成し、該区画空間内にスパッタプラズマを生成して、その開口部の前方に配置した基板上に薄膜を形成するスパッタ方法において、該区画空間内に下記プロセス A ～ D を形成し、スパッタプラズマを生成することを特徴とするスパッタ方法。

プロセス A：対向した第 1 のターゲット外縁部の全周に沿って生成した環状の平板マグネトロンモードの電磁界に拘束されてサイクロイド運動する二次電子によるガスイオン化プロセス。

プロセス B：第 2 のターゲットの第 1 のターゲットに隣接する両側縁部表面近傍に沿って形成された線状の平板マグネトロンモードの電磁界に拘束され、この電磁界の磁界に直交する方向の両端部で電子反射手段により反射されてサイクロイド運動する二次電子によるガスイオン化プロセス。

プロセス C：第 2 のターゲットの表面の近傍空間に形成された同軸マグネトロンモードの電磁界に拘束され、この電磁界の磁界に直交する方向の両端部で電子反射手段により反射されて該電磁界を往復しながらドリフトする二次電子によるガスイオン化プロセス。

プロセス D：第 1 のターゲット間に形成された対向モードの電磁界により拘束され、第 1 のターゲットで反射されて第 1 のターゲット間をローレンツ力により移動しつつ往復する二次電子によるガスイオン化プロセス。

【請求項 2】 所定距離の空間を隔てて対向配置した一対の第 1 のターゲットと該空間の開口部を除いた側面を覆うように配置した第 2 のターゲットとにより該空間を開口部を除いて区画された区画空間に構成し、該区画空間内にスパッタプラズマを生成して、その開口部の前方に配置した基板上に薄膜を形成するようにしたスパッタ装置において、スパッタプラズマを拘束する磁界を発生する磁界発生手段を第 1 のターゲットのそれぞれの外周に沿ってその外側近傍に磁極が対向するように配置し、該磁界発生手段により一対の第 1 のターゲットを囲む筒状の磁界と、第 1 のターゲットの外縁部の表面近傍に前記磁極から内側表面に円弧状に閉じた磁界と、第 2 のターゲットの表面近傍にその表面と平行な磁界と、第 2 のターゲットの磁界発生手段に隣接する両側縁部の表面近傍に前記磁極から内側表面に円弧状に閉じた磁界とを形成すると共に、磁界発生手段の該区画空間に臨む磁極端部及び第 2 のターゲットの該区画空間の開口部端部に電子を反射する電子反射手段を設けたことを特徴とするスパッタ装置。

【請求項 3】 前記磁界と各ターゲットの表面近傍の電界とにより、第 1 のターゲット間に対向モードの電磁界

を、第 1 のターゲットの全周に亘ってその外縁部に環状の平板マグネトロンモードの電磁界を、第 2 のターゲットの磁界発生手段に隣接する両側縁部の表面近傍に線状の平板マグネトロンモードの電磁界を、第 2 のターゲットの表面近傍に同軸マグネトロンモードの電磁界を形成した請求項 2 記載のスパッタ装置。

【請求項 4】 前記磁界発生手段が第 1 のターゲットのそれぞれにその外周に沿ってその外側近傍に磁極が互いに吸引するように対向して配置された磁石ユニットからなる請求項 2 又は請求項 3 記載のスパッタ装置。

【請求項 5】 スパッタガスを供給するガス導入手段により区画空間に直接スパッタガスを導入するようにした請求項 1 記載のスパッタ方法又は請求項 2 ～請求項 4 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 6】 第 1 のターゲットと第 2 のターゲットが同一組成の材料からなる請求項 1 もしくは請求項 5 記載のスパッタ方法又は請求項 2 ～請求項 5 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 7】 第 1 のターゲットが 2 枚の矩形ターゲットからなり、第 2 のターゲットが 3 枚の矩形ターゲットからなり、第 2 の 3 枚の矩形ターゲットで第 1 の矩形ターゲットの間の空間の 3 側面を囲って 5 面が矩形ターゲットで区画された箱形空間からなる区画空間を形成した請求項 2 ～請求項 6 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 8】 磁界発生手段は第 1 のターゲットのそれぞれにその外周に沿ってその外側に互いに吸引するような磁極配置で設けた永久磁石からなる磁石ユニットである請求項 7 記載のスパッタ装置。

【請求項 9】 前記スパッタガス導入手段の導入口を、区画空間の開口側面と対向する奥側の第 2 のターゲットの近傍空間に設けた請求項 5 もしくは請求項 6 記載のスパッタ方法又は請求項 5 ～請求項 8 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 10】 前記スパッタガス導入手段が、スパッタガスの温度調整手段を備えた請求項 1、請求項 5、請求項 6 もしくは請求項 9 記載のスパッタ方法又は請求項 2 ～請求項 9 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 11】 前記基板の後方から排気するようにした請求項 1、請求項 5、請求項 6、請求項 9 もしくは請求項 10 記載のスパッタ方法又は請求項 2 ～請求項 10 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 12】 前記第 1、第 2 の各ターゲットをユニット構成とし、一面を開口面とした箱型構造体の各側壁にターゲットユニットを取着し、区画空間を形成した請求項 2 ～請求項 11 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 13】 前記箱形構造体が、一側面が開口された直方体形の箱体とし、開口面を除いた各側壁に各ターゲットユニットを取着し、箱形空間を形成した請求項 12 記載のスパッタ装置。

【請求項 14】 前記箱形構造体を導電性材料で構成

し、アノード電極とした請求項 1 2 又は請求項 1 3 記載のスパッタ装置。

【請求項 1 5】 前記区画空間の開口部に、プラズマ空間に生成した粒子の飛散方向を規制する方向規制手段を設けた請求項 1、請求項 5、請求項 6、請求項 9、請求項 1 0 もしくは請求項 1 1 記載のスパッタ方法又は請求項 2 ～請求項 1 4 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 1 6】 前記方向規制手段がコリメートプレートである請求項 1 5 記載のスパッタ方法又はスパッタ装置。

【請求項 1 7】 前記区画空間の開口部に、開口部からの粒子の運動エネルギーを規制するエネルギー規制手段を設けた請求項 1、請求項 5、請求項 6、請求項 9、請求項 1 0、請求項 1 1、請求項 1 5 もしくは請求項 1 6 記載のスパッタ方法又は請求項 2 ～請求項 1 6 記載のいずれかのスパッタ装置。

【請求項 1 8】 前記エネルギー規制手段が網状の電極である請求項 1 7 記載のスパッタ方法又はスパッタ装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】 本発明は、スパッタ方法及びスパッタ装置に関し、更に詳しくは所定距離の空間を隔てて対向配置した一対の第 1 のターゲットと該空間の開口部を除いた側面を覆うように配置した第 2 のターゲットとにより該空間を開口部を除いて区画された区画空間に構成し、該区画空間内にスパッタプラズマを生成して、その開口部の前方に配置した基板上に薄膜を形成するスパッタ方法及びスパッタ装置の改良に関するもので、ターゲット使用効率及び基板への堆積効率が飛躍的に高まった、強磁性材料や誘電体材料等を高速成膜でき、微細加工やナノメーター粒子構造が精密に制御された薄膜を必要とする全ての産業分野に適用することのできる、経済効果の優れたスパッタ方法及びスパッタ装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】 情報関連分野に使われる各種の薄膜の作製技術としては、真空装置を用いる蒸着法やスパッタ法が広く使用されている。特に、磁気記録媒体、光記録媒体、ディスプレイ、半導体デバイス等の技術の進歩発展に伴って薄膜特性の向上と生産効率の必要性が近年特に高まっている。とりわけ、光学用途の誘電体材料、セラミクス材料、磁性材料などでは薄膜を形成する技術として、基板とスパッタ源とが対向した構造の各種スパッタ法が使われているが、優れた特性の薄膜を制御良く形成することが難しいことが多くの研究結果を通じて明らかになってきた (J. Vac. Sci. Technol. A7(3), pp.1105-1114, 1989)。

【0 0 0 3】 従来の基板とスパッタ源が対向する方式の 2 極のスパッタ法では、以下の問題がある。

(1) 基板とスパッタ源が対向する方式では形状や配置の状態によりスパッタプラズマ領域や特性が影響を受け、基板表面に均一なプラズマ条件で薄膜を作製することが難しい。

(2) 基板温度やスパッタガス圧の通常の範囲では、高エネルギープラズマが不均一に基板表面を衝撃するため、気相から固体化する薄膜組織には粒界でのボイドや粒内空隙、コンタミの内蔵等が生じ、特に粒界での欠陥や残留応力の不均一化等を避けることができない。

10 (3) スパッタプラズマを生成する高エネルギー電子や粒子が真空槽壁面に飛散し、真空槽壁面からスパッタされた不純物が薄膜形成過程で混入しやすい。

この結果、半導体デバイスやディスプレイに使われる導電薄膜、誘電体薄膜ではエレクトロマイグレーションによる薄膜の断線、繰り返し応力による薄膜の破断、環境ガスによる薄膜の腐食などの薄膜特性の劣化が生じ易く、特に微細加工を必要とする産業分野では従来技術に特有な微細構造欠陥の解決が強く求められている。

20 【0 0 0 4】 一方、この点を解決するためには超高真空技術が用いられるが、一般には超高真空技術を必要とする薄膜形成プロセスでは極めて高価な設備を必要とする。これに対して、本発明者らは、新規な一対のターゲットを対向させてスパッタプラズマを対向するターゲット間の空間に形成するスパッタ (対向ターゲット式スパッタ) 方法及び装置を、特公昭63-20303号、特公昭63-20304号、特公昭62-14633号等の公報で提案した。この技術は、公知の通り、図 1 0 の構成を基本構成にしている。すなわち、真空槽 20 内にホルダー H1, H2 に装着して所定距離の空間を隔てて対向するように配置されたターゲット T1, T2 と、該空間の外縁部の側面を磁束が均一に覆うように磁界を発生させるターゲット T1, T2 のそれぞれの背面に設けた磁界発生手段 M1, M2 とからなるスパッタ部 10 を設け、その側方に設けた基板ホルダー 41 により基板 40 を該空間に対面するように配置した構成になっている。なお、図の A1, A2 は、保護のためのシールドである。従って、図示省略した排気系により排気口 50 を通して真空槽 20 内を排気した後、図示省略したガス導入手段により導入口 61 からアルゴン等のスパッタガスを導入し、図示の如く直流電源からなるスパッタ電源 30 によりシールド A1, A2 従って真空槽 20 をアノード (陽極) (接地) に、ターゲット T1, T2 をカソード (陰極) にしてスパッタ電力を供給すると、スパッタ部 10 のターゲット T1, T2 の間にスパッタプラズマが形成されてスパッタが行われ、基板 40 上にターゲット T1, T2 の組成に対応した組成の薄膜が形成される。

50 【0 0 0 5】 この際、前述の構成によりターゲット T1, T2 の面と垂直方向に磁界が形成されているので、ターゲット T1, T2 間の空間内に高エネルギーの電子が閉じ込められてスパッタプラズマが生成し、ここでのスパッタガスのイオン化が促進されてスパッタ速度が高くなり高速

の膜形成ができる。その上、基板40は前述の2極のスバツタ装置の如くターゲットに対面せずターゲットT1、T2の側方に配置されたているので、基板40へのイオンや電子の衝突が非常に少なくなり、かつターゲットT1、T2からの熱輻射も小さく基板温度の上昇も小さくなる。よって低温の膜形成ができる。このように、従来のマグネトロ式スバツタ法では高速成膜が困難であった磁性材を含め各種材料を低温、高速で膜形成できる特徴を有し、磁性薄膜、薄膜型磁気記録媒体等の製造に利用されている。

【0006】しかし、通常この方式には矩形、円形のターゲットが用いられるがターゲットの形状に係わらず、スバツタされて浸食されるターゲット表面についてはその中心部に侵食が集中し易く、ターゲットの利用効率を改善する必要があることが分かった(IEEE Trans on Magnetics MAG-17, pp.3175-3177 (1981))。又、長方形ターゲットを使用した場合には、ターゲット侵食パターンがターゲット中央部に対して非対称となり、基板の幅方向においても膜厚分布が生じ、生産性及び薄膜の均一性についても改善を必要とすることが分かった。これに対して、本発明者らは特公平3-2231号公報及び特公昭63-54789号公報において、ターゲット浸食特性をターゲット面全域に拡大する改良技術として、各ターゲットの外側周囲に磁界発生手段の磁界発生部である磁極端部にコアを配置し、磁界をターゲットの周囲に発生させるようにした構成を提案した。この構成により、磁界はターゲットを経由しないで直接対向して配置したコア間に形成されるので、磁界分布がターゲット材の透磁率、飽和磁化、ターゲットの厚みに影響されにくくなり、且つスバツタプラズマ拘束用磁界がターゲット外周に沿ってその外側周囲に形成され、その侵食領域がターゲットの中央部から外縁周辺部まで拡大してターゲット利用効率が大きく改善した。しかしながら、スバツタの際、放電電圧が高くなり、高いスバツタガス圧でないと安定なスバツタができない欠点があることが分かった。更に、これを解決するものとして対向ターゲット式スバツタ法の特長であるプラズマ拘束条件をターゲット面全域に亘ってより一層均一に発現させる技術を、本発明者らは特公平4-11624号、特公平5-75827号等の公報で提案した。これら技術はスバツタプラズマを生成・拘束する技術として従来の対向ターゲット式スバツタにおけるターゲット面に垂直な磁力線(磁場)に加えてターゲット面の外縁部全周の近傍空間にターゲット面に閉じる円弧状の磁力線を形成するとともに磁極端部近傍に電子を反射する電子反射手段を設けることを特徴にしている。この技術においては対向したターゲットの間の空間を飛び交う高エネルギー電子は該空間をドリフトするとともにターゲット外縁部表面近傍の電磁界によりターゲット外縁部を全周に亘って磁極に吸収されることなくドリフトするので全体的にスバツタガスのイオン化効率が著しく高まり、前述

の問題の無い技術が実現した。

【0007】この結果、ターゲット全域に渡ってスバツタ効率を高めることが可能になった。この技術のスバツタ装置を用いて超高密度記録材料として期待されているCo-Cr、Co-Cr-Ta等の合金薄膜をポリエチレンテレフタレート(PET)フィルムやポリエチレンナフタレート(PEN)フィルムに形成した結果、150℃の低温基板に磁気特性、微細構造ともに優れた磁性薄膜を作製できることが確認された(J. Mag. Soc. Jpn., 18, Suppl. S1, pp. 19-2, p. 331-334, 他)。本スバツタ技術により、基板とスバツタ源が対向する従来のスバツタ法では実現できない微細構造等の特性の優れた薄膜が形成できるとともに、ターゲット全域で一様な侵食が可能になり、長方形ターゲットを使用した場合にもターゲット侵食パターンのターゲット中央部に対する対称性も飛躍的に改善した。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前述の特公平4-11624号、特公平5-75827号等の公報で提案した改良された対向ターゲット式スバツタ装置においても、ターゲット表面からスバツタされる反跳ガス粒子やスバツタ粒子はターゲット間の空間の全ての側面から真空槽内に飛散する状態には変わりない。このため、ターゲット全面から均一にスバツタ出来、基板上に一様な膜厚分布の薄膜を制御良く実現することは出来ても、ターゲットの側方空間のうち基板に面する一部しか薄膜形成に使用できないこと、真空槽壁に飛散した粒子により真空槽壁に内蔵されるガスがスバツタ中に放出される結果、基板に形成される薄膜の膜質が低下するといった従来スバツタ技術に共通する課題を克服することはできない。これに対しては、本発明者らは、以前に特公昭62-14633号公報において、対向した第1のターゲット間の空間の基板に面する開口部の側面を除いて他の側面に第2のターゲットを配置して該空間を開口部以外が閉鎖された区画空間とし、スバツタ粒子を基板方向のみに飛行させ、堆積効率の向上を図った対向ターゲット式スバツタ装置を提案した。この装置ではそのスバツタ部の区画空間の構成から上述のスバツタ粒子の利用効率の問題及び膜質低下の問題が解消すると共に、対向ターゲット式の利点を生かしつつ、第2のターゲットの表面近傍に表面に平行な磁界が形成されることから、第2のターゲットにマグネトロ式スバツタと同じ効果が得られ、それだけ堆積速度も向上する効果が得られる。しかしながら、本装置では第1のターゲットのスバツタによる侵食が前述の第1のターゲット間の空間の全側面が解放されたものに比べてその中心部に集中するため、ターゲットの使用効率が低下する問題、更にはそのため長期連続運転面で不利となる問題があることが分かった。また、ターゲットの表面近傍に高密度プラズマを形成するのに必要な電子の生成もしくは供給が長期的に安定せず、工業生産に必要な長期安定スバツタに問題があることが分かった。

【 0 0 0 9 】本発明は、かかる従来のスパッタ法の課題解決を目的するものであり、具体的にはターゲットの利用効率が高く、且つ長期安定性に優れた工業生産に耐える生産性もよいスパッタ方法及びスパッタ装置を第 1 の目的とするものであり、更には基板に入射するスパッタ粒子の運動エネルギー及び入射方向を制御でき、高エネルギー二次電子の基板表面衝撃を抑制すると共に薄膜形成におけるイオン化粒子の衝撃エネルギーを制御できるスパッタ方法及びスパッタ装置を第 2 の目的とするもので、区画されたプラズマ空間を形成する全てのターゲットの表面近傍に高密度のスパッタプラズマを生成・拘束できる新規なスパッタ方法及びスパッタ装置を提供するものである。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】本発明は、以下のスパッタ方法とスパッタ装置の 2 発明からなる。本発明のスパッタ方法は、所定距離の空間を隔てて対向配置した一対の第 1 のターゲットと該空間の開口部を除いた側面を覆うように配置した第 2 のターゲットとにより該空間を開口部を除いて区画された区画空間に構成し、該区画空間内にスパッタプラズマを生成して、その開口部の前方に配置した基板上に薄膜を形成するスパッタ方法において、該区画空間内に下記プロセス A ～ D を形成し、スパッタプラズマを生成することを特徴とするスパッタ方法である。

プロセス A : 対向した第 1 のターゲット外縁部の全周に沿って生成した環状の平板マグネトロンモードの電磁界に拘束されてサイクロイド運動する二次電子によるガスイオン化プロセス。

【 0 0 1 1 】プロセス B : 第 2 のターゲットの第 1 のターゲットに隣接する両側縁部表面近傍に沿って形成された線状の平板マグネトロンモードの電磁界に拘束され、この電磁界の磁界に直交する方向の両端部で電子反射手段により反射されてサイクロイド運動する二次電子によるガスイオン化プロセス。

プロセス C : 第 2 のターゲットの表面の近傍空間に形成された同軸マグネトロンモードの電磁界に拘束され、この電磁界の磁界に直交する方向の両端部で電子反射手段により反射されて該電磁界を往復しながらドリフトする二次電子によるガスイオン化プロセス。

プロセス D : 第 1 のターゲット間に形成された対向モードの電磁界により拘束され、第 1 のターゲットで反射されて第 1 のターゲット間をローレンツ力により移動しつつ往復する二次電子によるガスイオン化プロセス。

【 0 0 1 2 】本発明の第 2 の発明であるスパッタ装置は、所定距離の空間を隔てて対向配置した一対の第 1 のターゲットと該空間の開口部を除いた側面を覆うように配置した第 2 のターゲットとにより該空間を開口部を除いて区画された区画空間に構成し、該区画空間内にスパッタプラズマを生成して、その開口部の前方に配置した

基板上に薄膜を形成するようにしたスパッタ装置において、スパッタプラズマを拘束する磁界を発生する磁界発生手段を第 1 のターゲットのそれぞれの外周に沿ってその外側近傍に磁極が対向するように配置し、該磁界発生手段により一対の第 1 のターゲットを囲む筒状の磁界と、第 1 のターゲットの外縁部の表面近傍に前記磁極から内側表面に円弧状に閉じた磁界と、第 2 のターゲットの表面近傍にその表面と平行な磁界と、第 2 のターゲットの磁界発生手段に隣接する両側縁部の表面近傍に前記磁極から内側表面に円弧状に閉じた磁界とを形成すると共に、磁界発生手段の該区画空間に臨む磁極端部及び第 2 のターゲットの該区画空間の開口部端部に電子を反射する電子反射手段を設けたことを特徴とするスパッタ装置である。

【 0 0 1 3 】本発明は、上記の通り、対向した一対の第 1 のターゲットの間の空間の基板に面する側の開口部を除いた全側面を第 2 のターゲットで囲んだ区画空間で、電子反射手段を介して上記の各磁界に拘束された電子の相互作用により各ターゲットのほぼ全表面に高密度プラズマを生成・拘束し、全ターゲットの全表面のほぼ均一なスパッタを実現したものである。すなわち、本発明は、上記磁界により、各ターゲットの全表面に亘ってその表面近傍の空間に高密度プラズマを形成するとして公知の以下の各電磁界を形成し、これに電子を反射する電子反射手段を組合せることにより各ターゲットの全表面に亘って均一なスパッタを実現している。この電磁界のその 1 は、従来技術で詳述の対向ターゲット式スパッタ装置と同様の対向した第 1 のターゲットの間の空間を囲む筒状又は柱状の磁界とターゲット表面近傍の電界とからなる対向モード電磁界である。その 2 は、平板マグネトロンスパッタ装置と同様の第 1 のターゲットの外周に沿ってその外縁部表面の近傍に環状の電子拘束路を形成する外周から中央部に渡る円弧状の磁界と表面近傍の電界とからなる環状の平板マグネトロンモード電磁界であり、その 3 は、円筒状ターゲットの周囲にその表面に平行のその軸方向の磁界と表面近傍の電界で拘束する同軸マグネトロンスパッタ装置と類似的、具体的にはこの円筒状ターゲットを平板ターゲットに展開した場合と同様なターゲットの表面に平行な磁界と表面近傍の電界と該磁界に直交する方向の両端部すなわち展開した方向の両端部に設けた電子反射手段とからなる第 2 の各ターゲットの中央部表面近傍に形成される同軸マグネトロンモード電磁界、その 4 は、平板マグネトロンスパッタ装置と同様の第 2 のターゲットの前記平行磁界の方向の両端の側縁部に沿って線状の開いた電子拘束路を形成する外周から中央部に渡る円弧状の磁界と表面に垂直な電界からなる電磁界とその電子拘束路の両端に設けられた電子反射手段とからなる線状の平板マグネトロンモード電磁界である。」

【 0 0 1 4 】そして、本発明では、第 1 の両ターゲット

についてはその全面に互って対向モード電磁界を、その全周の外縁部に環状の平板マグネロンモード電磁界を形成して、前者でターゲットの中央部を、後者でその周辺部を主としてスパッタし全面均一のスパッタを実現している。また、第2のターゲットについてはそのほぼ全面に互って同軸マグネロンモード電磁界を、その第1のターゲットに隣接する両端に沿った側縁部には線状の平板マグネロンモード電磁界を形成して、前者でターゲットの中央部を、後者で周辺部の該両側縁部を主としてスパッタし全面均一のスパッタを実現している。そして電子反射手段により電子のシールド等への吸収を防止して、安定なスパッタを実現している。上述の本発明において、磁界発生手段は、対向した第1のターゲットのそれぞれの外周に沿って磁極がターゲットの前面より区画空間へ突き出し、異種の磁極が対向するように配置された磁石ユニット特に永久磁石の磁石ユニットとすることにより、一対の磁石ユニットにより前記の全磁界が形成でき、構成が非常に簡素となる点で好ましい。

【0015】また、本発明において、スパッタガス導入手段は区画空間にスパッタガスを直接導入する構成が好ましく、更には開口部から見た該区画空間の一番奥側にスパッタガスを導入し、気相粒子密度に対応する圧力勾配を区画空間内の奥側から開口部に向かって生成する構成がスパッタ粒子の移送面から好ましい。また、本発明において、ターゲットは全て矩形のターゲットを用いて、一対の対向した第1のターゲットの間の所定空間の4側面の内の開口部の側面を除いた3側面を3枚の第2のターゲットでコの字状に囲って区画し、該空間を直方体の箱形空間からなる区画空間とした構成が幅の広い基板にも対応でき、また製作面、コスト面等からも好ましい。以下、本発明の詳細を説明する。なお、以下の説明ではこの矩形ターゲットを用いた箱形空間を例に説明するが、本発明がかかる矩形ターゲットに限定されないことは、本発明の趣旨、各構成の作用等から明らかである。

【0016】

【発明の実施の形態】ところで、本発明のスパッタプラズマを拘束する磁界発生手段は、従来の対向ターゲットと同じ対向した第1のターゲットで挟まれた区画空間の側面を囲む磁束壁からなる対向モードの磁界（この磁界は、同時に第2のターゲットに対しては同軸マグネロンモードの磁界となる）を形成するのに加えて、第1のターゲットの外縁部全周の表面近傍及び第2のターゲットの第1のターゲットのそれぞれと隣接する側縁部の表面近傍にその表面で閉じる円弧状の磁界からなる環状及び線状の平板マグネロンモードの磁界を形成する構成を有するものであり、かかる磁界発生手段には、前述の通り一対の対向したターゲットのそれぞれの外縁部の外側の周囲に磁極をターゲット面から箱形空間に所定長突出させて設けられた、N極とS極の磁極が箱形空間を介して対向し磁力線が互いに吸引する磁極配置の磁石ユニ

ットからなるものが構成が簡単でコンパクトである点から好ましく適用される。この磁界発生手段は、上述の通り、スパッタプラズマ中の二次電子を箱形空間に拘束する磁力線を箱形空間の開口部及び第2のターゲットの表面近傍空間に形成する。この磁力線は、第1のターゲットに対して従来の対向ターゲット式スパッタ法と同じように箱形空間に対向モードのスパッタプラズマを生成すると共に、第2のターゲットに対しては同軸マグネロンモードの表面近傍空間のターゲット面と平行な磁力線となり、表面近傍の電界及びこの磁力線と直交する方向の両端部すなわちその開口部に臨む両端部の電子反射手段と協同してスパッタで生じる二次電子を拘束してターゲット表面近傍空間に沿って移動させ、該両端部に到る電子は電子反射手段で反転してこの電磁界に戻すことで主としてターゲット表面中央部全域の近傍空間で一様にガスのイオン化を促進し高密度プラズマを該近傍空間に生成する。

【0017】また、この磁界発生手段は、第1のターゲットの外縁部表面の近傍空間及びこの第1のターゲットに空隙を介して隣接する第2のターゲットの表面の両側縁部の近傍空間に、それぞれの磁極からターゲット表面に閉じた円弧状の磁力線を発生させるので、平板マグネロン式スパッタ法と同様にスパッタにより生成する二次電子をこの磁力線とターゲット表面近傍の電界からなる環状及び線状の平板マグネロンモードの電磁界によりサイクロイド運動させながらターゲットの外縁部及び側縁部の各表面の近傍空間に拘束することができる。なお、第2のターゲットの該両側縁部に形成される線状の平板マグネロンモードの電磁界はコの字状でその両端は開口部に設けた電子反射手段で閉じ、この両端に到る電子を反転させてこの電磁界に戻すようにしている。従って、全体として全ターゲットの全表面に互って高密度プラズマが生成される。なお、全てのターゲットは、公知のスパッタ装置と同様にスパッタ電力を供給するスパッタ電源のカソードに接続される。

【0018】この結果、箱形空間を形成する各ターゲット表面はそれぞれほぼその全面からスパッタ粒子、反跳ガス粒子及び二次電子を生成する。従って、全ターゲットの全面がほぼ均一にスパッタされ、ターゲット使用効率の高いスパッタが実現される。また、このターゲット面から飛散するスパッタ粒子は、一部は再びターゲット面に到りそこに堆積して更にスパッタされるものもあるが、殆どは開口部のみから飛散し開口部に対面する基板上に高効率で堆積される。開口部以外に飛散する粒子は、せいぜい隣接するターゲット間に存在する隙間具体的には後述の例の高々数mmの空隙から飛散するものであり、実用上は殆ど無視できる程度のものであり、よって従来のスパッタ装置で問題であった壁面のスパッタ、壁面への堆積等は大きく改善される。。なお、磁界発生手段の少なくとも箱形空間に臨む磁束を発生する磁極端

部及び第2のターゲットの開口部に臨む両端部には、プラズマ中を移動して来る二次電子を反射する電位にした電子反射手段を設ける。この構成により端部が開放された電磁界の開放端部具体的には開口部に臨む端部が閉鎖され、この電磁界の電子拘束路の端部で電子が反転されて電磁界に戻り、この端部からの電子の飛散が防止され、同軸マグネロンモード及び線状の平板マグネロンモードのスパッタが第2のターゲットに実現されると共にの磁極部での二次電子等の吸収が無くなりプラズマ密度が更に向上する。

【0019】これらの電磁界に拘束された高エネルギーの二次電子は、スパッタガスとの衝突でガスのイオン化を生じると共にエネルギーを失って熱電子となる。この熱電子は、プラズマ中の磁力線に強く拘束されつつ移動しながら電子反射手段の外側空間に設けられているシールドを兼ねたアノードに流入し、カソードとアノードに加えた電力がプラズマ生成と熱に転換される。以上、本発明は、ターゲット表面からプラズマ空間に生成される高エネルギー二次電子を箱形空間に形成した上記の各電磁界によって拘束し、スパッタガス粒子との衝突によるプラズマ密度の促進プロセスとこのプラズマをプラズマ空間へ安定に拘束できる下記のプロセス（A、B、C、D）を備えたことを特徴とし、このプロセスにより空間電子に関する電磁気特性に従ってスパッタプラズマ空間に実現する方法である。

【0020】A、対向した第1のターゲット外縁部の全周に沿って生成した環状の平板マグネロンモードの電磁界の閉じた磁力線とターゲット表面近傍空間の電界に拘束されてサイクロイド運動する二次電子によるガスイオン化プロセス：磁界発生手段が外周外側に空隙を隔てて配置された第1のターゲット外縁部の表面近傍空間には平板マグネロンスパッタと同様の表面に円弧状に閉じた磁力線分布がターゲット面の周縁部に沿って形成され、二次電子の運動をこの磁力線分布により安定に拘束できるので、二次電子密度分布に対応して高密度プラズマが安定に形成できる。

B、第2の3面の各ターゲットの第1のターゲットに隣接する両側縁部表面近傍に沿って形成された線状の平板マグネロンモードの電磁界とこの電磁界の開口部面の電子反射手段により二次電子をサイクロイド運動させながらイオン化するプロセス：第1のターゲット回りに設けた磁界発生手段に隣接してコ字型に配置した3面の第2のターゲットの該両側縁部の近傍空間には箱形空間の開口部を除いて平板マグネロンスパッタと同様のコの字状に連続した磁力線分布が形成される。この結果、箱形空間の開口部を除く3ターゲット面の該両側縁部に沿って、二次電子の運動はこの磁力線分布での拘束と開口部の電子反射手段での反転によって吸収又は飛散すること無く安定に拘束できるので高密度プラズマが安定に形成できる。

【0021】C、第2の3面の各ターゲットの前記プロセスBの両側縁部を除く全表面の近傍空間では同軸マグネロンモードの電磁界の磁力線に弦巻バナネ状に拘束されつつドリフトし、その両端部の開口部及び第1のターゲットの周囲に設けられた電子反射手段により反射されて反転し、該近傍空間を運動する二次電子によるガスイオン化プロセス：第2の3面の各ターゲットの前記両側縁部を除く全表面の近傍空間では磁界に直交する方向の両端部すなわち開口部端の電子反射手段で閉じられた同軸マグネロンモードの電磁界（ターゲット表面に略平行な平行磁力線と該表面近傍の電界）が二次電子に作用し、二次電子は磁力線方向に弦巻バナネ状に移動しながら磁力線と直交する方向にターゲット面近傍空間をドリフトすると共にその開口部の端部ではそこに設けられた電子反射手段により反射されて反転し再び該近傍空間を奥側へと向かう。その結果、二次電子ビームはターゲット表面の近傍空間に拘束され、高密度プラズマが安定に形成できる。

D、第1のターゲット間の対向モードの電磁界により箱形空間の第1のターゲット間を往復運動する二次電子ビーム（群）がローレンツ力により移動しつつガスとの衝突によるガスイオン化プロセス：対向モードの箱形空間の開口部を含む外縁部を囲んで形成した磁力線に弦巻バナネ状に拘束されてターゲット面間を往復運動する二次電子ビーム（群）にはローレンツ力が作用し、磁界発生手段で形成する磁力線と直交した力を受けてプラズマ空間をドリフトする。質量の無視できる高エネルギー二次電子は箱形空間の開口部に設けた磁力線と電子反射手段によってプラズマ空間に拘束することができるため、軌道を変えた二次電子ビームはプロセスA、B、Cの電磁界で安定に拘束されプラズマが安定に形成できる。

【0022】本発明では、二次電子を拘束するプロセスA、B、Cは箱形空間を形成する5個のターゲット面近傍の各空間に従来技術におけるマグネロンスパッタと同様のマグネロンモードの電磁場を形成することで実現しており、磁力線分布特性は空間で100ガウスを越える強さで良い。また、プロセスDは従来技術における対向ターゲット式スパッタと同様の対向モードの電磁場に比較して強めにする方が好ましいが磁力線分布特性は磁極面近傍で500ガウスを越える強さがあれば、箱形空間の間隔を広くとる場合にも安定に電子を拘束できる。電子ビームがローレンツ力で箱形空間を第1のターゲット間を往復しながらドリフトするプロセスDから、磁界発生手段の磁極近傍空間にあるプロセスA、Bとの境界領域に電子ビームが至るとこの空間における強い磁場によってサイクロイド運動するプロセスA、Bに一部の電子は拘束され、残りの電子は反転して第1のターゲット間を往復運動するプロセスDに再び拘束されながらプラズマを生成する。また、箱形空間の開口部まで所定の運動をしつつ移動するプロセスB、Cにおける二次電子の大

部分はその開口部面の電子反射手段で反射されて反転して再びプロセス B、C に戻り、一部は開口部空間に形成しているプロセス A、D の磁力線分布に拘束されてプロセス A、D に移る。すなわち、プラズマ空間に二次電子を拘束するプロセス A ～ D では、それぞれのプロセスで安定に二次電子を相互に補充し合って拘束する電磁場空間を構成している。以上、ターゲットで囲まれた箱形空間を運動している二次電子にはプロセス A ～ D が相互に関連して作用するため電子ビームの動作が箱形空間で動的に移動しながらターゲット全面に一樣に拘束できるとい、これまでのスパッタプラズマ生成技術と異なるプロセスで電子を効率良く拘束できる新規な構成を特徴にしている。

【0023】なお、ターゲット面からスパッタされた粒子を箱形空間の開口部から基板を配置した方向の空間に飛散しやすくするため、箱形空間の開口部からその外側へガスが流れるように排気して高真空状態を形成し箱形空間とその外側の真空槽内空間には圧力差を持たせて粒子の搬送効率を高めるのが好ましい。また、ターゲット表面近傍のスパッタガス粒子密度が希薄化される従来技術の問題に対しては、スパッタガスを箱形空間に直接供給することにより解決し、ターゲット面近傍での粒子密度分布を動的に安定化した状態で二次電子との衝突確率を調節することも可能になった。すなわち、本発明は、蒸着技術における蒸発源近傍での高密度蒸発粒子を高真空空間に飛散させるプロセスと同様に、スパッタプロセスにおいて区画されたプラズマ空間に高密度で高エネルギー粒子を生成し、区画空間外の高真空空間に配置した基板面に開口部を介してスパッタ粒子を移送できる新規な技術である。開口部に例えば数ミリメートルの厚さの板に一樣に穴を設けたコリメートプレート

を設けることにより、コリメートプレートを通過する粒子はコリメートプレートのほぼ全面に渡って一樣な方向の粒子を形成できる。

【0024】すなわち、本発明では箱形空間を形成する 5 個のターゲットユニットによる高密度スパッタプラズマの生成と制御に関して、ア) 各々のターゲット表面近傍にサイクロイド又は弦巻バネ状に二次電子の運動を拘束する電磁界の環境を形成し、イ) 各ターゲット表面から箱形空間に飛散した二次電子をターゲット面での電子反射とローレンツ力により空間電子の軌道を規制する電磁界の環境を形成し、かつ、ウ) 箱形空間の開口部では二次電子を反射させて箱形空間内のプラズマ空間に拘束する電磁界の環境を整えることにより、5 面のターゲットから生成した高エネルギー二次電子を箱形空間に安定に拘束・制御するとともに、ターゲット表面近傍空間のスパッタガス粒子密度と粒子の運動エネルギーを調節することができる高密度スパッタプラズマ制御方法であり、箱形空間内のプラズマに生成した高エネルギー粒子を含む広範囲のエネルギー粒子を開口部を介して高真空

空間に配置した基板表面に目的に応じた入射方向やイオンプラズマ衝撃に制御して堆積できる装置を特長としている。以下に本発明を矩形ターゲットを用いた実施例に基づいて詳細に説明する。

【0025】【実施例】図 1 は実施例のスパッタ部の全体構成の示す斜視図、図 2 は図 1 の A - B 線での側断面図、図 3 は図 1 の C - D 線での側断面図、図 4 は磁界発生手段の磁力線分布の説明図、図 5 はターゲット外縁部及び側縁部の磁力線分布の説明図、図 6 は第 1 のターゲットユニットの概略側断面図、図 7 はその A - B 線での断面図、図 8 は第 2 のターゲットユニットの概略側断面図、図 9 はその A - B 線での断面図で、図 10 は従来の対向ターゲット式スパッタ装置の全体の概略説明図である。本実施例は、図 10 に示す、前述の従来技術の項で詳述した従来の対向ターゲット式スパッタ装置と基本構成は同じである。すなわち、本実施例は、この従来の対向ターゲット式スパッタ装置において、スパッタ部 10 を図 1 ～ 図 3 に示す開口部 SF を除いて閉鎖されたスパッタ部 10 とし、その開口部 SF が基板 40 に対面するように支持部材を介して真空槽 20 に配置すると共に、図 10 の供給口 61 及び排気口 50 を閉鎖して、ガス導入手段の吹き出し細管 60 によりスパッタ部 10 の空間に直接スパッタガスを供給するようにし、基板 40 後方の近傍に排気口を設けて基板 40 の後方から排気するように構成し、その他の構成は同様としたものである。従って、以下、本発明の特徴部であるこのスパッタ部 10 を中心にその詳細を説明し、基本動作等従来技術で説明した点は説明を省略する。

【0026】本実施例のスパッタ部 10 は図 1 ～ 図 3 に示すように構成されている。すなわち、一面が開口部 SF の箱体 11 の各側壁に、第 1 のターゲット 110-1、2 を前面に備えたターゲットユニット 100-1、2 を該ターゲット 110-1、2 が対向するように取り付けると共に、第 2 のターゲット 110-3、4、5 を前面に備えたターゲットユニット 100-3、4、5 を該ターゲット 110-3、4、5 が空間に面し、その側断面が図 2 に示すようにコの字状になるように取り付け、区画された箱形空間 12 を形成した構成となっている。そして、第 2 のターゲット 110-3、4 の開口部 SF に臨む両端部には、図 1、図 2 に示すように、電子反射手段の板状の導電体からなる開口部反射板 140-6、7 が設けられている。この開口部反射板 140-6、7 は、第 2 のターゲット 110-3、4、5 の表面近傍に形成される前述のプロセス B、C の平板マグネトロンモード、同軸マグネトロンモードの各電磁界の開放された開口部の端部を塞ぐためのものであり、よってその大きさは両モードの電磁界の有効範囲を覆うものであればよい。通常、幅は第 2 のターゲット 110-3、4 の幅以上であればよく、高さは第 2 のターゲット 110-3、4 の前面から数 mm ～ 10 mm 前後突き出る高さであればよい。

【0027】箱体 11 は、ステンレス、アルミ合金等の導電性材料からなる、所定の強度を有する箱形構造体で構

成されている。箱体11の各側壁の適当な箇所には、ターゲットユニット100-1~5と接続をする真空槽外部に設けているスパッタ電源、電子反射電極用電源、スパッタガス源、ターゲット冷却装置等との接続機構（図示省略）が設けられている。箱体11の各側壁は、ターゲットユニット100-1~5の取付け部と開口部SFを除いて、図示の閉じた構造が好ましい。この構造により、箱形空間12から開口部SF以外の方向にスパッタ粒子が飛散することを防ぐことができるので、従来のスパッタ技術で問題になっている真空槽壁面からの不純物粒子が薄膜に混入することを防ぐことができる。

【0028】第1のターゲットユニット100-1, 2は、図6、図7に示すように構成されている。ここではターゲットユニット100-1の例を示す。なお、ターゲットユニット100-2は、ターゲットユニット100-1とは後述する磁界発生手段の磁石ユニットの磁極配置が逆となっている点を除いて同じ構成である。ターゲット110-1は、ユニット取付板150-1に電気絶縁材からなる絶縁ブロック161-1を介して固定された冷却台130-1の前面にボルト等により取り外し可能に取着されている。冷却台130-1はステンレス等の熱伝導性の良い材からなり、前面に図7に示すようなジグザグの連続した冷却溝131-1を全面に亘って設けた構成で、ターゲット110-1をその前面に取着すると冷却ジャケットが形成される構成となっている。冷却台130-1のこの冷却溝131-1には、両端の供給口132-1と中央部の排出口133-1に図示省略した冷却配管が接続され、冷却媒体の循環により直接ターゲット110-1の全面を冷却するようになっており、非常に効率良く冷却できる。なお、ターゲット110-1の冷却台130-1への取付は具体的には本例ではその外周に沿って所定間隔で植込みボルトにより固定しており、その取着面は当然のことながらパッキン（図示せず）を介してシールされている。

【0029】本実施例では磁界発生手段の磁石ユニット120-1は、ターゲット110-1の外周に沿ってこれと所定（通常は数mm）の空隙Gを隔てて配設された多数の棒状の永久磁石121-1とその前面の磁極面に設けたパーマロイ等の軟磁性材からなる板状のコア122-1とから構成される。この磁石ユニット120-1は、磁石ホルダーを兼ねた電子反射手段の反射ユニット140-1に収納されている。反射ユニット140-1は、銅、アルミ、ステンレス等の導電材からなり、磁石ユニット120-1を収納する収納部を兼ねた本体部141-1と、この本体部141-1の先端前面に設けられた反射プレート142-1とからなり、電気絶縁材からなる絶縁ブロック162-1を介してユニット取付板150-1に取着されている。なお、反射プレート142-1は、空隙G及びターゲット110-1の取付部を覆うように、その外縁部迄その全周に亘って設けられている。この反射プレート142-1は、ターゲット110-1の取付部のボルト等がスパッタされるのを防ぐと共に、本体部141-1とターゲット110-1側面との空隙Gにスパッタ粒子が飛散して

堆積し、ターゲット110-1と反射ユニット140-1との電気絶縁或は絶縁ブロック161-1、162-1表面の電気絶縁の状態が低下することを防止する。この点から空隙G及びターゲット110-1の少なくとも取付部を含む外縁領域を遮蔽する図示の構成が好ましい。また、反射ユニット140-1にはスパッタ粒子や反跳ガス粒子の衝突による温度上昇が考えられるので永久磁石120-1の温度上昇に伴う磁界強度の低下を防ぐために少なくとも本体部141-1を冷却細管配設、ジャケット付設等の冷却可能な構造にするのが好ましい。

【0030】なお、この反射プレート142-1は電子を反射する電位に保持された電子反射手段であり、電子反射機能を有し、二次電子を箱形空間12に反射する。なお、反射プレート142-1, 2をパーマロイ等の透磁率の高い材料とすることにより、反射プレート140-1, 2が磁極端部となり、二次電子を拘束する磁界分布を強めることができる。取着板150-1には、スパッタ電源、ターゲット冷却装置、電子反射用電源等との接続部、或いは、プラズマモニター用センサー等スパッタプラズマ生成と制御に関わる部品、デバイスを設けることができる。第2のターゲット110-3, 4, 5のターゲットユニット100-3, 4, 5は図8、図9に示す構成となっている。尚、図はターゲットユニット100-3について示してあり、以下これに基づいて説明する。このターゲットユニット100-3は、図から明らかな通り、磁石ユニット120-1を有しない点を除くと前述した図6、図7の第1のターゲットユニット100-1, 2と同じである。すなわち、取着プレート150-3に、絶縁ブロック161-3を介して冷却台130-3を設け、この前面にターゲット110-3を取着すると共に、この冷却台130-3及びターゲット110-3の周囲をこれと所定の空隙Gを隔てて取り囲むように反射ユニット140-3を絶縁ブロック162-3を介して設けた構成となっている。

【0031】ところで、この第2のターゲットユニット100-3では、反射ユニット140-3の本体部141-3は磁石ユニットを収納する必要がないので、前述の第1のターゲットユニット100-1, 2とは異なり、単なる板状体で構成されている。なお、その先端部には、第1のターゲットユニット100-1, 2の反射プレート142-1と同様に、空隙G及びターゲット110-3の取付部を覆うようにターゲット110-3の外縁部に所定長突き出すように折り曲げられた反射プレート142-3が設けられている。以上の5組のターゲットユニット100-1~5は、前述のように、図1に示すように箱体11の側壁に取着プレート150-1~5をその外周に沿って外側からボルト等で固定することにより取り外し可能に取着される。なお、図2、図3に示すように、各ターゲットユニット100-1~5の周囲には数ミリメートル空隙を介してシールドプレート13を設ける。このシールドプレート13は箱体11と同電位であり、アノードとして電子を吸収し、ターゲットユニット100-1~5の周囲がスパッタされるのを防止する。また、図2に示すように

箱形空間12の開口部SFからみて奥側のターゲットユニット100-5の外周の奥側近傍にその全周に沿ってガス導入手段の吹き出し細管60が配設されている。この吹き出し細管60は、所定間隔で細孔が設けられ、ガスを吹き出すようになっている。ガスの排気は、前述の通り、本例では基板40の後方から行うようになっている。

【0032】以上の構成の作用を以下説明する。図4は本構成の基本的な磁力線分布の関係を示すモデル説明図であり、図5は、ターゲットの外縁部の磁力線分布とこれに拘束された電子の拘束路の説明図である。本構成では、図4のモデル図のように、磁石ユニット120-1, 2は、前述の図6、図7の通り、第1の対向した矩形のターゲット110-1, 2の外周に沿ってその外側に所定の空隙Gを介して配置されている。その磁極配置は互いに吸引するN極とS極が対向する配置となっている。その磁極端部は具体的には前述のコア122-1, 2又は反射プレート142-1, 2が磁性材の場合は反射プレート142-1, 2となるが、図6に示すようにターゲット110-1, 2の前面より箱形空間12側に所定長さdだけ突出して設けられている。

【0033】この配置により、磁石ユニット120-1, 2は、以下の磁力線分布を生成する。その1は、空間及びターゲット110-1~5を介して生成するそれ自身に閉じた半円状の磁力線分布FD21、FD22に基づく、第1のターゲット110-1, 2の外縁部全周に亘ってその近傍空間に環状に形成されるプロセスAの図示のターゲット110-1, 2の表面に閉じた平板マグネトンモードの円弧状の閉鎖磁力線FD211、FD221である。その2は、該磁力線分布FD21、FD22及び磁石ユニット120-1のN極から空間及び第2のターゲット110-3, 4, 5（3, 4は図示省略）を介して磁石ユニット120-2のS極に向かう磁力線分布に基づく、第2のターゲット110-3, 4, 5の磁石ユニット120-1, 2に隣接する側縁部の近傍空間に形成される線状の平板マグネトンモードの図示のターゲット110-5の表面に閉じた円弧状又は逆方向の円弧状の閉鎖磁力線FD215、FD225等であり、この第2のターゲット110-3, 4, 5のそれぞれの該側縁部に沿った線状の磁力線分布が図5に示すように連なって全体としてプロセスBのコの字状の拘束路S2が形成される。その3は、対向ターゲット式スパッタ法と同様の第1のターゲット110-1, 2の間の箱形空間の側面を取り囲む、磁石ユニット120-1のN極から空間を介して磁石ユニット120-2のS極に向かうプロセスDの対向モードの磁力線分布FD11、FD12である。この磁力線分布FD-11、FD-12のうち第2のターゲット110-5の表面近傍に形成される磁力線分布FD12（図示してないがターゲット110-3, 4の表面近傍にも同様の磁力線分布が形成される）は、同時に第2のターゲット110-3, 4, 5のそれぞれの前面近傍のプロセスCの同軸マグネトン式モードの磁力線分布となる。この同軸マグネトン式モードの磁力線分布は、100 Gauss以上の磁界において同軸マグネトン式スパッタ法の磁力線と同様に電子をターゲットの

表面近傍に拘束する作用をする。

【0034】ところで、磁界強度に対応する磁力線の密度は磁極からの距離の2乗に反比例する性質がある。ターゲット110-3, 4, 5の中央部における磁界の低下に対応して、ターゲット中央部で生成する二次電子を同軸マグネトンモードで拘束する比率が減少すると共に対向モードで拘束する比率が増加することになる。また、磁力線密度は透磁率の異なる材料の影響を受ける。従って、磁石ユニット120-1, 2とターゲット110-1~5とを空隙を介して配置することにより、磁極近傍空間にはターゲット110-1~5の材質に関係せず強い磁界が形成され、かつその分布特性は磁石ユニット120-1, 2とターゲット110-1~5との間の幾何学的配置によって決定できることになり次の作用を発現できる。

【0035】1）磁石ユニット120-1, 2に空隙Gを介して周囲を囲まれた1対の矩形ターゲット110-1及び110-2の外周の近傍空間にターゲット面と垂直なプロセスDの対向モードの磁力線分布FD11、FD12を形成することにより箱形空間12に生成された二次電子が対向ターゲット式スパッタ法と同様にターゲット110-1と110-2との間を往復する過程でビーム状となってローレンツ力を受けて移動しつつガスとの衝突によりイオン化を促進する。なお、このプロセスDのイオン化プロセスを促進し、かつ安定に維持する点から、図6に示すように磁石ユニット120-1, 2の周囲を電子を反射する電位の反射ユニット140-1, 2で囲い、磁石ユニット120-1, 2への電子の吸収換言すれば流れを防止することが好ましい。

【0036】2）対向した1対のターゲット110-1, 2の前面の外縁部の全周の近傍空間にターゲット表面に閉じたプロセスAの平板マグネトンモードの円弧状の磁力線分布FD211、FD221を形成することにより平板マグネトロンスパッタ法と同様に矩形のターゲット110-1, 2の外縁部全周すなわち図5の環状の拘束路S1を二次電子がサイクロイド運動しながら移動してスパッタ用ガスとの衝突によりガスのイオン化を促進する。なお、磁石ユニット120-1, 2の磁極端部具体的にはコア122-1, 2をターゲット110-1, 2の前面より数ミリメートル程度の突出し長さdを有する配置とすることにより、一つの磁石ユニット120-1, 2により上記の磁力線分布FD211、FD221及び前述の対向モードの筒状の磁力線分布FD-11、FD-12が形成できる。これら閉じた磁力線分布FD211、FD221とターゲット110-1, 2の表面近傍の電界とで前述の通り平板マグネトンモードの電磁界が形成され、その作用で、スパッタにより生じた二次電子を拘束することはもちろん、箱形空間12をローレンツ力を受けてターゲット端部に移動する二次電子の一部も拘束することは上記図4に示す磁力線分布から明らかである。

【0037】3）図1、図2に示すように、磁石ユニット120-1, 2の外側にコの字状に配置した第2の3個の矩形ターゲット110-3~5の磁石ユニット120-1, 2に隣接す

る両側の 2 つの側縁部の表面の近傍空間には磁石ユニット 120-1、2 により図 5 に示すようにプロセス B の平板マグネトロンモードのターゲット 110-3~5 のそれぞれの表面に閉じた円弧状の磁力線 FD213 (図示せず)、FD214、FD215 が形成され、第 1 のターゲット 110-1、2 の夫々の外周の 3 辺に沿って箱形空間の開口部端まで連続したコの字状の線状の図 5 に一点鎖線で示す拘束路 S2 が形成される。この拘束路 S2 は、その両端の開口部 SF において開口部反射板 140-6、7 により閉じられている。従って、該拘束路 S2 をドリフトして開口部 SF に到った二次電子は、開口部反射板 140-6、7 で反射されて反転し、再び拘束路 S2 を逆方向にドリフトするので、コの字状の第 2 のターゲット 110-3~5 の前記外縁部に沿って連続して形成された磁力線分布 FD213 (図示なし)、FD214、FD215 等は第 1 のターゲット 110-1、2 に形成される環状の磁力線分布 FD211 と FD221 の電磁場による二次電子拘束と同様の作用をする。すなわち、コの字状に配置した第 2 のターゲット 110-3~5 の両側の該側縁部の電磁場では平板マグネトロンスパッタ特有な安定なサイクロイド運動による高密度プラズマ形成をする環境が形成されることが判る。

4) 磁石ユニット 120-1、2 の外側にコの字状に配置した第 2 の 3 個の矩形ターゲット 110-3~5 の各前面には、箱形空間 12 の奥側のターゲット 110-5 について図 4 に示すように、その側縁部を除いた中央部表面の近傍空間を経由して磁石ユニット 120-1 の磁極端部であるコア 122-1 から磁石ユニット 120-2 の磁極端部であるコア 122-2 に向かう同軸マグネトロンモードの磁力線分布 FD12 が形成されている。この同軸マグネトロンモード磁力線分布は、その他の第 2 のターゲット 110-3、4 の前面近傍にも形成され、これらが連なってコの字状のシート状の電磁界空間が形成され、その両端は開口部 SF において開口部反射板 140-6、7 で閉じられている。

【0038】この第 2 の 3 個の矩形ターゲット 110-3、4、5 の各々の前面の近傍空間に形成しているこの表面と平行な磁力線分布 (図 4 の FD12) は、図 4 に示すようにターゲット 110-5 の材質による透磁率の違いにより開口部 SF に形成している磁力線分布 FD11 とは異なる場合がある。この磁力線分布 FD12 の特性は、ターゲット 110-3、4、5 と磁石ユニット 120-1、2 との配置により調節できる。具体的には図 3 に示す空隙 h を変えることにより、磁力線分布 FD12 の他、コの字状の第 2 のターゲット 110-3、4、5 の側縁部の表面の近傍空間に形成する FD214、FD215、FD225 等の磁力線分布を調節できる。第 2 のターゲット 110-3~5 の表面近傍の電界と磁力線 FD-12 からなり、その両端を開口部反射板 140-6、7 で閉じられた電磁界に拘束されて移動する二次電子は、磁力線 FD-12 に沿って弦巻バネ状にターゲット 110-3~5 の表面近傍を移動し、ターゲット 110-1 表面や反射プレート 142-1 ともう一方のターゲット 110-2 表面や反射プレート 142-2 とで反射されてその間の表面近傍のプラズマ空間を往復しつつ、ドリフトする

過程でスパッタガス粒子との衝突確率を高め、イオン化を促進する。すなわち、両端を開口部反射板 140-6、7 で閉じられた第 2 のターゲット 110-3~5 の各々の表面近傍に形成されるターゲット表面とほぼ平行な磁力線 FD-12 と表面に垂直方向の電界からなる電磁界空間は、開口部反射板 140-6、7 により両端に到った電子を反転して該電磁界空間に戻して循環させる。なお、反射方向によってその一部は、対向モード等他の電磁界へ移動する。従って、この電磁界空間は、筒状のターゲットの周りの近傍空間にその軸に平行な磁界と表面に垂直な電界からなる電磁界を形成して電子を軸方向に移動しつつ周方向に循環させてイオン化を促進させるようにした同軸マグネトロンスパッタ法の筒状ターゲットを平板に展開した時の同軸マグネトロンスパッタ法の電磁界空間と同様になっており、同軸マグネトロンスパッタ法と同様の作用をする。具体的には、開口部反射板 140-6、7 は、ターゲット 110-3、4 の表面より 10 ミリメートル程度箱形空間側に突き出るように設けることにより、本電磁界に拘束されて開口部端にドリフトしてくる電子を確実に本電磁界に戻す一方、その反射方向によっては対向モードの開口部 SF の磁力線 FD-11 等に移動させ、全体として効果的なイオン化を行う。

【0039】なお、この第 2 のターゲット 110-3~5 の前面の同軸マグネトロンモードの電磁界の磁界方向の両端は、第 1 のターゲット 110-1、2 及び反射プレート 142-1、2 で閉じられており、又その両端部には前述のプロセス A、B の平板マグネトロンモードの電磁界が形成されているので、両端に到った電子は前者で反転されて戻るか、プロセス B、場合によりプロセス B の電磁界に移り、軸方向の両端に電子反射プレートを設けた同軸マグネトロンスパッタ法と同様に全体として効果的なイオン化が行われる。以上、磁力線 FD-12 に沿って弦巻状に運動しながら磁力線 FD-12 に直交する方向にドリフトする二次電子は、一部はドリフト中に両側の側縁部の磁力線 FD214、FD215 等からなる平板マグネトロンモードの電磁界に移動し、その他はそのままコの字状の第 2 のターゲット 110-3~5 の表面に沿って移動し、開口部 SF に到る。この開口部 SF においてはそこに設けた開口部反射板 140-6、7 により二次電子は反射されて反転し、元の電磁界を逆進し、或いは反射方向により開口部 SF に形成されている磁力線 FD11、FD211、FD221 に拘束されて、箱形空間 12 に環流する。磁力線 FD11 に拘束される二次電子は、ローレンツ力を受けてターゲット 110-1 と 110-2 の面間を往復する対向モードに移動する。磁力線 FD211、FD221 に拘束される二次電子はローレンツ力を受けてターゲット 110-1 と 110-2 の外縁部を環状にドリフトする平板マグネトロンモードに移動する。

【0040】以上、本例では、ターゲット表面から飛散する二次電子は、対向モード、平板マグネトロンモード、同軸マグネトロンモードの電磁界でターゲット表面

及び箱形空間に拘束されると共にローレンツ力、サイクロイド運動でドリフトし、開口部SFに到る電子は、開口部に設けた電子反射手段及び磁力線により箱形空間に環流することのできるプロセスを安定に行う技術が実現される。なお、拘束路S1、S2を移動する電子の軌道は、ターゲット表面より約10ミリメートル程度迄の高さに拘束されると算定される。従って、上述の如く開口部SFに設ける開口部反射板140-6、7は、ターゲット表面より10ミリメートル程度突き出すものが適用が広く好ましいが、その形状は磁力線分布との共同で十分二次電子が箱形空間に環流する機能が発現されれば良く、開口部反射板140-6、7の中は、開口部SFの大きさ、基板の大きさ等とも関連し、これらの点を考慮して決められる。

【0041】本発明では箱型プラズマ空間に生成される二次電子をローレンツ力とターゲット表面近傍空間の電磁場により安定に拘束、制御することでスパッタプラズマ密度をグロー放電相当にまで高めてもスパッタ粒子を区画空間から開口部を通して安定に移送できることは明らかである（Glow Discharge Processes: Chapman著、Wiley Interscience刊）。ターゲット面を箱型に配置した構造であるため、スパッタされた粒子や反跳ガス粒子は他のターゲット表面に弾性衝突して方向変換やエネルギー交換をするとともに二次電子や他の粒子との衝突確率を高めることが期待される。ターゲット表面との衝突で運動エネルギーを減じたスパッタ粒子が電子衝撃でイオン化された場合にはカソードのターゲットの表面近くのカソードシースに生成されている電界によってスパッタ粒子が拘束され易くなり、他のスパッタ粒子との衝突や電子衝突、更に高密度プラズマ空間での衝突回数の増加によるスパッタガス粒子及びスパッタ粒子をイオン化する確率が増加する。基板背後から高真空中に排気することにより、スパッタされた粒子が基板に移送される過程では一様に断熱膨張相当の環境を形成できるため粒子の方向を揃えたクラスター状の粒子生成も本発明の技術では期待できる。特に、開口部に後述のコリメートプレートを設ける場合には、箱形空間に生成した高密度スパッタ粒子をコリメートプレートを介して高真空空間に飛散する過程では圧力差を任意に調節することができる。従って、高エネルギー粒子の状態を保持したままクラスター生成が容易に可能となる。

【0042】一般に、スパッタにより生成された高エネルギー二次電子は電磁場に拘束されてスパッタガス粒子に衝突することにより、ガス粒子のイオン化とガス粒子からの二次電子放出が生じる。プラズマ空間でのカソード表面すなわちターゲット表面に生成される強い電界区間は数ミリメートルであり、イオン化されたガス粒子がターゲットをスパッタするためにはターゲット表面の近傍空間に電磁場を形成し、ターゲット表面の近傍空間に高エネルギー二次電子を拘束するとともにスパッタガス粒子をプラズマ空間に供給する技術が、スパッタプラズ

マ密度を高めて高速薄膜形成を行うための必要条件である。本発明による電磁場形成技術では5面ターゲット表面近傍の電磁場形成と開口部での電子拘束及び電子反射の電磁場を同時に箱形空間に形成できるので、該必要条件が容易に満たされ、本発明の目的を達成できる。以上の通り、本例では、スパッタプラズマの発生とその封じ込めは、5組のターゲットユニット100-1〜5を数ミリメートルの間隙を介して配置することにより形成される図1に示す箱形空間12で行われ、その開口部SFの前方に配置する基板40にはプラズマ空間で生成されたスパッタ粒子やイオン化された粒子が飛散して堆積し、薄膜が形成される。この構成において、箱体11の開口部SFには基板表面へ堆積するスパッタ粒子やガス粒子の流れを抑制する移動可能な遮蔽板や、絶縁材を介して電界を調節するグリッドを設けることができる。遮蔽板を用いてスパッタ開始の際、ガス圧を高めてスパッタプラズマを箱形空間12に容易に生成するだけでなく、大気に晒したターゲット表面を清掃する等の効果がある。金属メッシュを絶縁材を介して設け、その電位を調整することにより、真空管におけるグリッドと同様な電界が開口部SFに形成され、イオン化された粒子の運動エネルギーを微妙に制御することが可能になる。

【0043】また、開口部SFからのスパッタ粒子の移送方向を厳密に制御するにはコリメートプレートを設けるとともに基板40を配置した空間を高真空中にすればよい。本発明では箱形空間12の開口部SFから見た奥行きD13

（図2参照）を調節し、プラズマ空間を遮蔽するコリメートプレートと基板との間の真空度を高くすることにより運動エネルギーの高い且つ方向の揃ったすなわち方向性に優れた粒子による薄膜形成が効率良く、かつ高速で可能になる。例えば、集積度の高い半導体やディスプレイでの高密度配線には優れた効果を発現できることは明らかである。コリメートプレートとは例えば蓮根を輪切りにした断面における穴のように数ミリメートルの厚みのプレートに無数のプレート厚みより一桁程度小さい寸法の穴を空けて、スパッタ粒子の飛散方向を一様に整形する機能を有する物理的フィルターであるが、穴の形状と厚みの関係、穴の分布は目的に応じて設定するものであり、粒子の飛散方向を整える機能があれば穴加工の寸法のサイズ、精度は堆積効率、圧力差等本発明の目的を満たす範囲で実験的に決定するのが好ましい。真空排気を基板40の背後から行なう構成により、開口部SF近傍を常に箱形空間12の奥側より高真空状態にして粒子の流れが箱形空間12から開口部SFを介して一様に基板40に向かうようにすることができる。また、箱形空間12にはスパッタガス導入手段の吹き出し細管60を介してのみスパッタガスが供給されるのでターゲット表面から発生する不純ガス粒子を排出した後は、スパッタガスの純度とターゲット110-1〜5に混在するガスがスパッタプラズマにおける不純ガス濃度を決める要因となり、真空槽20の壁面

からのガス放出の問題が解決できる。

【 0 0 4 4 】スパッタガスを導入するガス導入手段の吹出し細管60は、図 2 に点線で示すように箱形空間12の奥側のターゲットユニット100-5のターゲット110-5の全外周に沿ってその周囲の後方のユニット取付板150-5近くに配置し、吹出し細管60に設けた穴または溝を介してスパッタガスを箱形空間12に供給する。本例では、吹出し細管60は導電性材料を使用し、シールドプレートと同様アノードの一部として使用している。スパッタガスの温度を調整する温度調整手段としては、ガス導入細管をジュール熱で加熱する方法を用いているが、赤外線ヒーター等で加熱する方法等公知の他の手段も適用できる。従って、箱形空間12ではスパッタガス粒子エネルギーが高く、スパッタガス粒子との衝突を多数回繰り返しながら拡散により基板表面に移送されるスパッタ粒子の運動エネルギー低下が抑制される。また、ガス導入細管を液体窒素などの冷媒により冷やすことにより、スパッタガスのエネルギーを低下させて箱形空間に導入することも容易にできることは明らかである。

【 0 0 4 5 】本発明では、5個のターゲット110-1~5には同一の電源からでも別々の電源からでも電力を供給することができる。なお、電源方式は形成する膜すなわちターゲット材料に応じて選択され、ターゲット材料が導電性材料の場合は直流電源で、絶縁材料の場合にはターゲット表面に異常電界による異常放電を抑制する直流に正極性パルス印加した電源、あるいは少なくとも一部のターゲットにはRF電源が使用される。なお、5個のターゲット110-1~5には、通常形成する膜に対応する同一組成のターゲットを使用するが、場合により異なった組成のターゲットも適用できる。異なった組成のターゲットを組み合わせることでその平均組成に近い膜が形成できるので、多方面への応用が可能である。磁界発生手段の磁石ユニット120-1, 2は、対向した第1のターゲットユニット110-1, 2のみに設置する。本例の永久磁石121-1, 2には、アルニコ系、Co-Sm系、Fe-Nd-B系永久磁石等が適用できるが、磁石ユニット120-1, 2にはコイルを用いた電磁石も使用できる。磁極の発生する磁界強度として300 Gauss以上、更に好ましくは500 Gauss以上で、かかる磁場を磁極近傍に形成できるアルニコ系、Co-Sm系、Fe-Nd-B系等の永久磁石がターゲット周りの構成も簡単になることから好ましい。なお、磁石ユニット120-1, 2を図 6 に示すようにターゲット110-1, 2の外周と数ミリメートルの空隙Gを介して配置し、ターゲット110-1, 2の前面より磁極端部が数ミリメートルの突出し長さdだけ突出するように設置する構成により、図 4 に示す磁力線分布が形成される。

【 0 0 4 6 】箱形空間12の対向面をなす第1のターゲット110-1, 2の間隔D11 (図 4 参照) は、50ミリメートルから200ミリメートルと広い範囲に設定して良く、箱形空間12の開口部SFに形成した図 4 に示す磁力線分布FD11

は、二次電子を箱形空間12に拘束する強度分布の条件を満たせば良い。また、箱形空間12の他の対向面をなすターゲット110-3, 4の間隔D12 (図 3 参照) は、50ミリメートル以上必要に応じて任意に広い範囲に設定して良い。反射ユニット140-1~5は、前述のターゲット110-1~5の取付部の保護及び空隙Gの閉鎖の他、開口部反射板140-6, 7と同様に飛来する二次電子を反射して箱形空間12のスパッタプラズマ中に拘束し、高密度プラズマ生成を安定に維持する作用をする。これらの点から反射ユニット140-1~5及び開口部反射板140-6, 7の電位は、プラズマ空間に存在する二次電子を反射するがスパッタガスイオンによってこれらの表面がスパッタされて浸食されることが無い電界を生成する負の電位に設定される。反射ユニット140-1~5及び開口部反射板140-6, 7の電位は、実用的に見てスパッタプラズマが安定に維持できる電位であれば良く、通常-100から-250ボルトの範囲で良好に作用するが、装置構成、二次電子のエネルギー分布等により異なり、実機でのテストで最適値を選定するのが好ましい。反射ユニット140-1~5及び開口部反射板140-6, 7の電位は、カソード用電源とは電氣的に絶縁して別の電源から供給するかもしくはカソードとの間に少なくとも機能損を損なわない程度の電気抵抗を介してカソード電源から分岐してもよい。

【 0 0 4 7 】第2のターゲット110-3, 4, 5は、反射ユニット140-1, 2の本体部141-1, 2従って磁石ユニット120-1, 2の側面より数ミリメートルの空隙hを設けて配置し、かつ磁石ユニット120-1, 2の先端部とターゲット110-3, 4, 5の両端の外縁部前面との隙間が数ミリメートルになるように配置されている。ターゲット110-5とターゲット110-3, 4とはその表面端部が数ミリメートルの空隙を介して隣接する配置となっている。また、各ターゲットユニット100-1~5の電子反射ユニット140-1~5は互いに電氣的に同一電位で良く、一部で接触する配置であっても良い。アノードは図 1 ~ 図 3 に示すターゲットユニット110-1~5を装着するステンレス、アルミ合金などの良電導体材料からなる箱体11をシールドを兼ねて使用できる。このアノードは真空槽と同電位の接地状態で使用しても、又真空槽と電氣的に絶縁した状態で使用してもよい。

【 0 0 4 8 】外部電源との接続端子、冷却用細管の接続ポート、スパッタガス導入細管の接続ポート、スパッタプラズマ状態をモニターするセンサー等スパッタプラズマ制御に必要な機構を箱体11に装着することにより、箱形空間12の開口部SFを有するスパッタ部をユニット構成とすることができる。図 1 ~ 図 3 に示した箱体11からなるスパッタ部10から判るように、開口部SFを除いて箱形空間12からその外部の空間へ飛散するスパッタ粒子、スパッタガスの通路は隣接するターゲットユニット100-1~5の間に設けた数ミリメートルの空隙だけである。そしてこの空隙から飛散したスパッタ粒子等は箱体11の内

壁面に堆積する。また、本構成によれば、箱体11の内壁面に吸着するガスのみが箱形空間12に混入する可能性がある不純ガスであり、表面積の少ない箱体11の内壁面からの不純ガスの箱形空間12への混入は大きく抑制される。従って、真空槽全体を超高真空状態にしなくてもスパッタプラズマ空間への不純ガスの混入を容易に抑制する環境が実現される。また、開口部SF近傍に設ける基板40の背後より真空排気しながらスパッタプラズマ生成をする本構成では、箱体11の壁面を加熱し不純ガスの放出排気を容易にできることは明らかである。

【0049】更に、箱形空間12の奥側のターゲットユニット100-5の外周に沿ってその後方近傍に設けられた吹き出し細管60から中性のスパッタガスを箱形空間12に供給することにより、従来のスパッタ法で確認されているターゲット表面でのガス粒子密度の希薄化現象を防止し、箱形空間12で生成したスパッタ粒子、スパッタガス粒子密度の増加による気相圧力を高めるとともに基板40背後からの真空排気に伴う圧力差を大きくすることが容易にできるため、ターゲット110-1~5からスパッタされたスパッタ粒子はスパッタガスとの弾性衝突の確率が増大してクラスター生成といったエネルギー消失が少ない状態で効率良く高速な薄膜形成が可能になる。なお、ターゲット110-1~5のスパッタにより箱形空間12に生成され、電磁界のローレンツ力による影響を受けて運動する二次電子は、スパッタガスとの衝突によるイオン化を促進しつつプラズマ空間から拡散する過程でアノードの箱体11の内壁面やガス導入の吹き出し細管60に流入する。また、低エネルギーの熱電子はプラズマ空間の開口部SFから拡散する。このため、本例の如く、開口部SFの箱体11の壁面をシールドとして電子を吸収するのが好ましい。

【0050】以上の本発明では、高密度スパッタプラズマを生成、拘束する従来技術と次の点に際違った作用上の相違があり、これらの相違の故に発明の特有の効果が得られる。すなわち、高密度プラズマ生成に必要な二次電子の拘束技術の従来法では、高エネルギー二次電子を安定にドリフトできる磁界はターゲットを介して閉じた一様な磁力線分布を形成する必要がある、閉じた磁力線とターゲット表面近傍の電界とによって二次電子の密度に平衡状態を保たせる原理により装置が実用化されている。平板マグネトロンスパッタ法ではターゲットの外周に沿って円弧状の閉じた磁力線分布を形成することを特徴にしており、同軸マグネトロンスパッタ法では筒状のターゲットの表面を取り囲むこれに平行な軸方向の磁力線分布の形成を特徴としており、対向ターゲット式スパッタ法ではターゲット周囲に対称性の良い筒状の磁力線分布の形成を特徴にしている。また、スパッタプラズマを生成するためのスパッタガス密度分布はターゲット周囲の空間に均一に分布する構造とすることで、二次電子密度の平衡状態を安定化するようにしている。

【0051】これに対して、本発明では高エネルギー二次電子を電磁界によって拘束する構成として、箱形空間の開口部からその外部の真空槽内空間への飛散を抑制する磁力線分布及び電子反射手段を設けて二次電子を箱形空間に拘束すると共に、この拘束された箱形空間内で二次電子がドリフトとターゲット表面での反射を繰り返す過程でターゲット表面の近傍空間に該二次電子を拘束できる磁力線分布を5個の全ターゲットの表面近傍に形成することにより、二次電子の流れが3次元の箱形空間で動的に変化しながらターゲット全表面の近傍空間に二次電子の高密度状態を安定に実現できる構成としている。この構成により、スパッタ粒子、スパッタガスの密度差を箱形空間の奥側と開口部に発生させ、かつ粒子間衝突や二次電子衝突を増加することで粒子エネルギー分布と方向性の均一化を促進するとともに、スパッタ粒子エネルギーを広い範囲に渡って制御する技術が実現された。

【0052】以上、本発明のスパッタ装置におけるスパッタプラズマを生成・拘束する電磁界分布は以下の3モードの電磁界に基づくものである。すなわち、その1は各ターゲットの外縁部又は側縁部の表面近傍に環状及びコの字状の線状に形成された磁力線分布とターゲット表面近傍の垂直方向の電界からなる平板マグネトロンスパッタモードの電磁界分布、その2は第2のターゲットの両端に設けた電子反射手段とその間のターゲット全表面近傍空間に形成されたその表面と平行な磁界と垂直方向の電界とからなる同軸マグネトロンモードの電磁界分布、その3は対向する第1のターゲットの周囲に筒状に形成された磁界に基づく対向スパッタモードの電磁界分布の3モードの高密度スパッタプラズマを生成する電磁界分布であり、これらの電磁界分布と電子反射手段とを組み合わせたものである。そして、本発明は電子反射手段を介したこの3モードの電磁界分布の相乗作用により区画空間を構成する全ターゲットの表面近傍にプラズマ空間に生成した電子を効果的に拘束し、全ターゲットの全表面均一な高速スパッタを可能としたものである。以上の本発明は、その構成から上述の全面均一の高速スパッタの他、以下の作用を奏する。高密度スパッタプラズマを形成する空間とスパッタ粒子を堆積する基板表面近傍空間とを分離することで緻密な薄膜形成を可能にする条件を満足させるだけでなく、従来の側方空間全てにスパッタ粒子が移送するために生じる欠点を解消できる。すなわち、各ターゲット面からはターゲット表面近傍空間のスパッタプラズマ密度に応じてスパッタ粒子、反跳スパッタガス粒子、二次電子がスパッタプラズマ空間に飛散する。5面のターゲットの配置は数ミリメートルの空隙を介して隣接するターゲット面同士が90度の角度をなすように配置しているので、スパッタ粒子、反跳スパッタガス粒子といった質量のある粒子はスパッタプラズマ空間での粒子間衝突がなければ直進しターゲット面等で弾性反射しつつ濃度分布により拡散する。

【0053】また、粒子間衝突では両者の運動エネルギーが保存される弾性衝突条件で方向、速度を変える。箱形空間に對面する5面のターゲット表面でこれら粒子の生成と反射とがランダムに起こるので、スパッタ粒子、反跳スパッタガス粒子は箱形空間の開口部から基板表面方向の高真空空間に一樣な粒子密度でビーム状に基板表面に移送される。また、開口部空間での磁界発生手段の構成から、例えば間隔D11を5~20センチメートル、幅D12を100センチメートルを越える任意の長方形に形成しても開口部では二次電子を箱形空間に拘束できる。また、箱形空間の奥行きD13は通常5~20センチメートルを使用するが、スパッタ粒子の混合状態や飛散粒子の方向性といった品質及び生産効率から実験的に選定できる。

【0054】

【発明の効果】以上の本発明は、上述の構成により、区画空間を区画する全てのターゲットが全面均一にスパッタされ、ターゲットの使用効率が大幅に向上すると共に、この向上と安定なプラズマ生成により長時間の連続運転時間も可能となり、生産性に優れた工業生産に適したスパッタ装置を実現すると同時に、以下の通りスパッタ装置に待望されていた種々の効果を奏する。スパッタ粒子の拡散する区画空間を基板の大きさに応じた広い範囲に規定できかつスパッタ粒子の移送方向を一方向に規制できる。また、本発明では区画空間を囲む真空槽内空間に浮遊するガス密度を常に区画空間より希薄化するように排気系とスパッタ部を配置できるとともに、開口部と對面する奥側のターゲットユニットの近傍からガス導入細管を介してスパッタガスを区画空間に供給する過程でスパッタガスを加熱または冷却することにより、基板へ移送されるスパッタ粒子の運動エネルギーを広い範囲で調節できる。すなわち、スパッタ粒子の運動エネルギーレベルを広範囲に渡って規制できる。

【0055】更に、本発明ではスパッタ粒子の移送方向を規制できるだけでなく、二次電子がスパッタガスと衝突する確率が高いため、圧力差によって拡散する高密度粒子のイオン化を高め、開口部に設けるグリッド等での電界やコリメートプレートにより、粒子の方向とエネルギーを厳密にかつ効率よく制御できる。従って、半導体分野やディスプレイ分野での高アスペクト比を必要とする薄膜導体形成に必要なスパッタ条件を充分満たすことができる。特に、スパッタガスの区画空間への直接供給によりターゲット表面をスパッタするガス粒子密度を高めるとともに、高真空排気による粒子拡散を容易にした構成であるため、スパッタ粒子を効率よく開口部から基板面に移送できるので、投入するスパッタ電力を効率良く薄膜形成に使用できる。すなわち、省エネルギーを可能にするスパッタプラズマ技術である。本発明の更に特徴的な効果は、基板に堆積される薄膜の平坦化と組成の厳密な制御が可能なる点にある。薄膜の組成制御は5面のターゲット組成を例えば2%異なる組み合わせにして、

ターゲットに加える電力を調節してターゲット間のスパッタ粒子密度を薄膜組成と電源の投入電力とで相関をとることにより、組成のバラツキを評価技術の誤差以内に規制できる。

【0056】ところで、薄膜の平坦化が抑制される原因は、堆積表面に移送されたスパッタ粒子の運動エネルギーが低いこと、基板表面に付着している不純物粒子に拘束されて固体化して基板上に初期成長するスパッタ粒子の核成長における格子サイズオーダーの表面凹凸の発生とそれに続く連続膜成長でのスパッタ粒子の入射方向により選択的に成長する粒子界面の凹凸斑の拡大にあることは明らかである (J. Appl. Phys. 58(10), 15 Nov. p. 3739-3746 1985)。本発明では、基板に入射するスパッタ粒子の運動エネルギー及びイオン衝撃エネルギーのレベルを高範囲に調整できるので、材料の特性に合わせて初期成長する粒子間の格子結合状態を規定できるので、上記原因を解消でき、薄膜の平坦化が得られる。また本発明では、異常プラズマ衝撃を基板に与えることや真空槽壁面からの不純粒子の混入を抑制できるので、更に薄膜の平坦化を抑制する原因と考えられる因子を排除しているので、より一層の薄膜の平坦化が達成される。又、本発明によるターゲットユニットの構成は、磁界発生手段をターゲットの背面でなくその外側に設ける構成であるのでその有無に関わらず、簡単な構造でかつ冷却性能を上げることができることは、通常のマグネトロンスパッタ等に使われている磁石の配置と比較すれば明らかである。また、スパッタ部を構成するスパッタユニットは、各ターゲットユニットを箱体の側面に取り付けるだけの構成であり、かつ箱体の適当な部分には必要な接続部等を設けることができ、全体としてもコンパクトな構成となる。従って、各ユニットの標準化が容易となると共に、ユニット毎の交換が出来るだけでなく、部品の交換、取り外し等の保守作業に手間、時間をかけて調整を必要とした従来技術と異なり、これら保守作業も簡便になる。以上の通り、本発明は、生産性、ターゲット使用率が優れ、スパッタ粒子の方向性、エネルギーレベル等の制御性も良く、各種材料に適用できる工業生産に好適なスパッタ方法及びスパッタ装置を提供するものであり、各種薄膜形成を必要とする産業界へ広く適用できるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、スパッタ部の構成の概略説明図である。

【図2】図2は、図1のA-B部から見た概略側断面図である。

【図3】図3は、図1のC-D部から見た概略側断面図である。

【図4】図4は、磁石ユニットとターゲットの磁力線分布の関係を説明する簡略モデルの説明図である。

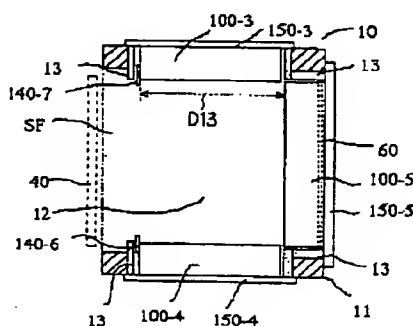
【図5】図5は、ターゲットの外縁部及び側縁部の磁力

【図 10】図 10 は、従来の対向ターゲット式スパッタ 10 装置の説明図である。

11 スパッタ部の箱体

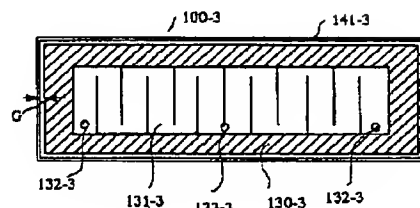
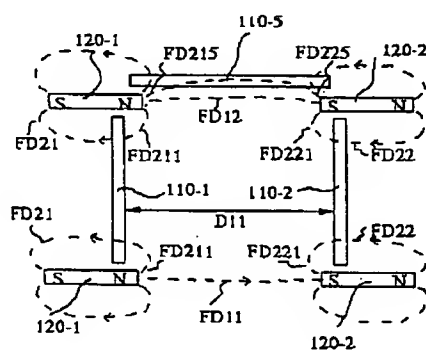
- 1 2 箱形空間
- 2 0 真空槽
- 3 0 スパッタ電源
- 4 0 基板
- 5 0 排気口
- 6 0 ガス導入手段の吹き出し細管
- 6 1 導入口
- 1 0 0-1~5 ターゲットユニット部
- 1 1 0-1~5 ターゲット
- 1 2 0-1~5 磁石ユニット
- 1 3 0-1~5 冷却台
- 1 4 0-1~5 反射ユニット
- 1 4 0-6、7 開口部反射板

【图2】

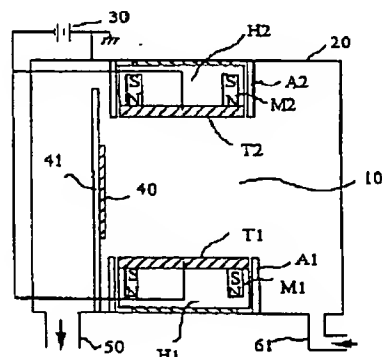


【图9】

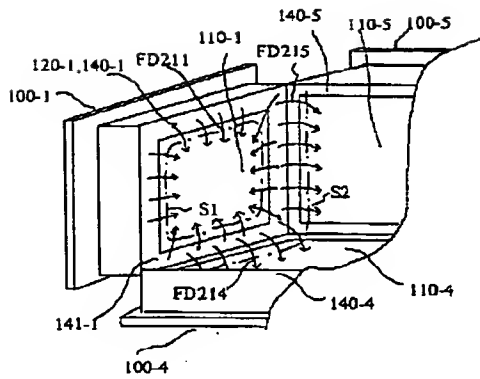
【图 4】



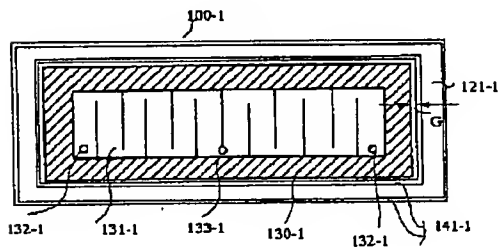
【☒ 1 0】



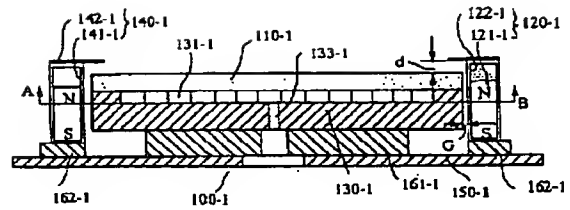
【图 5】



【図 7】



【图 6】



【例 8】

